

実験的炉物理教育のためのデジタルトリプレット開発 —汎用臨界集合体シミュレータの作成—

名古屋大学工学部エネルギー理工学科 山本章夫研究室 伊藤魁人

1. 緒言 臨界集合体等を用いた実験は、実際の原子炉やその挙動に関する炉物理実験教育において有効な手段である。しかし、現在、日本において教育用に利用できる臨界集合体は京都大学臨界集合体実験装置と近畿大学原子炉(近大炉)のみであり、炉物理学習者が臨界集合体を利用する機会は限られてくる。そこで本研究では、実験的炉物理教育を効果的に実施する方策の一つとしてデジタルトリプレットに着目した。デジタルトリプレットでは教材やシミュレータが必要となる。しかし、従来のシミュレータでは、①様々なパラメータを可視化できないこと、②特定の原子炉に特化した設計になっている場合があること、③シミュレーションで対象とする範囲が広く、操作などが複雑である場合があること、などの特徴があり、デジタルトリプレットにおけるシミュレータとしては適切でない。そのため、本研究では、デジタルトリプレットに適したシミュレータを開発した。本シミュレータでは任意の臨界集合体及び動力炉における主要な炉物理実験・炉物理試験を模擬することを目標とした。また、使用者が炉物理実験及び炉物理試験の物理的な背景を理解しやすいように、通常の実験では測定できないパラメータ(例：遅発中性子先行核密度)を合わせて可視化するようにした。

2. シミュレータの作成・機能 本シミュレータでは一点炉動特性方程式を完全陰解法で解くことで動特性計算を実施するようにした。動的なグラフ描画やその他 GUI はゲームエンジン Unity を用いて作成した。本シミュレータでは、主要な炉物理実験・炉物理試験を模擬するために、体系内の中性子数や反応度、遅発中性子先行核密度のリアルタイム変化をグラフにプロットする機能、中性子源の挿入引抜や物理的な制御変数(制御棒位置、温度、ホウ素濃度など)を調整して反応度を決定する機能などを実装した(図1)。

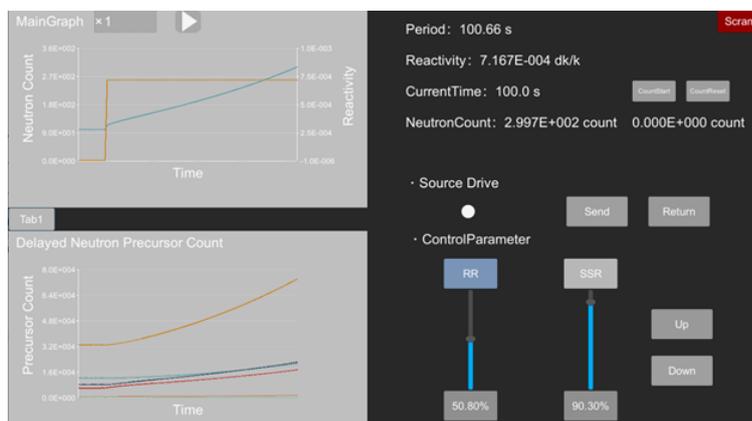


図1 作成したシミュレータ画面

3. シミュレータを用いた模擬実験 作成した本シミュレータで実際に炉物理実験・炉物理試験が模擬できるか検証した。実在する臨界集合体である近大炉と PWR をモデルとした BEAVRS ベンチマークについてそれぞれ模擬実験を行った。近大炉を対象とした炉物理実験では、臨界近接、ペリオド法、落下法、ソースジャーク法について、BEAVRS ベンチマークを対象とした炉物理試験では臨界近接、反応度計校正、臨界ホウ素濃度確認、等温温度係数測定、制御棒価値測定(希釈法)について模擬実験を行い、本シミュレータが実機の挙動を模擬できるのか検証した。例として、近大炉ペリオド法実験の模擬結果を示す。実験では臨界状態から調整棒(RR)を引き抜き、倍加時間をストップウォッチで測定した。一方、シミュレーションでは RR を模擬した制御棒を臨界状態から瞬時に引き抜き、シミュレータ上のデジタル値から倍加時間を測定した(図1)。実験手順を模擬し、実験値から大きく外れない結果を得ることができ、教育用のシミュレータとしては妥当な結果を得た(表1)。

表1 近大炉ペリオド法実験での比較

	RR位置(%)	平均倍加時間(s)	ペリオド(s)
実験	0.0→50.8	70.9±0.1	102.3±0.2
	50.8→100	91.3±0.3	131.7±0.4
シミュレータ	0.0→50.8	70.00	100.98
	50.8→100	91.25	131.65

口頭発表：[1] 伊藤魁人, 遠藤知弘, 山本章夫, 第9回炉物理専門研究会, オンライン, 12月8日(2021).

[2] 伊藤魁人, 遠藤知弘, 山本章夫, 日本原子力学会2022春の年会, オンライン, 3月16-18日(2022).(発表予定)